

SVEUČILIŠTE JURJA DOBRILE U PULI
ODJEL ZA PRIRODNE I ZDRAVSTVENE STUDIJE

LEANA ZANDONA

EUTROFNI UVJETI U UZGAJALIŠTU BUDAVA U 2017.

ZAVRŠNI RAD

Rovinj, 2019.

SVEUČILIŠTE JURJA DOBRILE U PULI
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ ZNANOST O MORU

LEANA ZANDONA

EUTROFNI UVJETI U UZGAJALIŠTU BUDAVA U 2017.

ZAVRŠNI RAD

JMBAG: 0303060882, redovan student

Studijski smjer: Preddiplomski studij Znanost o moru

Predmet: Mehanizmi dugoročnih promjena u ekosustavu mora

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Znanstveno polje: Interdisciplinarne prirodne znanosti

Znanstvena grana: Znanost o moru

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Tamara Đakovac

Rovinj, 2019.



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisana Leana Zandona, kandidatkinja za prvostupnicu Znanosti o moru ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

U Puli, _____, _____ godine



IZJAVA o korištenju autorskog djela

Ja, Leana Zandona dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom „Eutrofni uvjeti u uzgajalištu Budava u 2017.“ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.
Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, _____ (datum)

Potpis

Leana Zandona, rođena je 22.05.1994. u Puli. Osnovnu školu završila je u Svetvinčentu, medicinsku školu - smjer fizioterapeutske tehnike u Rijeci, a 2015. godine upisala je preddiplomski studij Znanost o moru pri Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli. Završni rad završetak je Sveučilišnog preddiplomskog studija pod naslovom „Eutrofni uvjeti u uzgajalištu Budava u 2017.“ iz kolegija Mehanizmi dugoročnih promjena u ekosustavu mora. Praktični dio rada je obavljen u laboratoriju Centra za istraživanje mora Instituta „Ruđer Bošković“ u Rovinju, na osnovu obrade i analize podataka uzorkovanja 2017. u Budavi.

Predan je na ocjenu Sveučilišnom preddiplomskom studiju Znanost o moru Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli radi stjecanja zvanja prvostupnice (baccalaureus) znanosti o moru.

Voditelj Sveučilišnog preddiplomskog studija Znanost o moru je imenovao mentora završnog rada.

Mentor: izv. prof. dr. sc. Tamara Đakovac

Povjerenstvo za ocjenjivanje i obranu:

Predsjednik: Izv. prof. dr. sc. Ljiljana Iveša, viši znanstveni suradnik

Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, Rovinj

Član: Izv. prof. dr. sc. Željko Jakšić, viši znanstveni suradnik

Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, Rovinj

Član: Izv. prof. dr. sc. Tamara Đakovac, viši znanstveni suradnik

Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, Rovinj

Datum i mjesto obrane završnog rada: 27.09.2019.; Centar za istraživanje mora Instituta Ruđer Bošković u Rovinju

Rad je rezultat samostalnog istraživačkog rada.

ZAHVALA

Zahvaljujem mojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Tamari Đakovac na predloženoj temi te pomoći, strpljenju i savjetima tijekom izrade ovog završnog rada.

Veliko hvala i mojim kolegama i prijateljima koji su uvijek bili uz mene i koji su mi ovaj period studiranja učinili još ljepšim.

Najveću zahvalnost želim izraziti svojoj obitelji koja mi je bila velika podrška tijekom mog cjelokupnog školovanja.

SADRŽAJ:

1. UVOD	8
1.1. Marikultura	8
1.2. Uvala Budava.....	9
1.3. Trofički status i eutrofikacija	10
1.4. Hranjive soli u vodenom stupcu	12
1.5. Fosfor u sedimentu	13
2. CILJ	15
3. METODE.....	16
3.1. Uzorkovanje u uzgajalištu Budava	16
3.2. Određivanje parametara u vodenom stupcu.....	17
3.2.1. Prozirnost.....	17
3.2.2. Temperatura	17
3.2.3. Salinitet.....	17
3.2.4. Otopljeni kisik.....	17
3.2.5. Određivanje hranjivih soli	18
3.2.5.1. Amonijeve soli.....	18
3.2.5.2. Nitriti.....	18
3.2.5.3. Nitrati	19
3.2.5.4. Ortofosfat	19
3.2.5.5. Klorofil a.....	19
3.3. Određivanje ukupnog, anorganskog i organskog fosfora te redoks potencijala u sedimentu.....	20
3.4. Obrada podataka	21
4. REZULTATI I DISKUSIJA	22
4.1. Vodeni stupac.....	22
4.2. Sediment	26
4.2.1. Redoks potencijal	26
4.2.2. Fosfor u sedimentu	27
4.3. Trofički status.....	28
5. ZAKLJUČCI.....	30
6. LITERATURA	31
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA.....	35
BASIC DOCUMENTATION CARD	36

1. UVOD

1.1. Marikultura

Akvakultura je značajna grana gospodarstva koja je stara više tisućljeća. Akvakultura je širi pojam od marikulture, a definiramo je kao granu ribarstva koja se bavi kontroliranim uzgojem organizama koji žive u vodi (Gavrilović i sur., 2014).

Marikultura kao uži pojam je dio akvakulture, također grana ribarstva koja obuhvaća uzgoj morskih organizama, riba i školjkaša u kontroliranim uvjetima, u bazenima, plutajućim kavezima ili drugim uzgojnim instalacijama koje su smještene u zaštićenim dijelovima priobalnog mora. Marikultura kao bio-manipulacija životnim ciklusom uzgajane vrste i relevantnih čimbenika okoliša podrazumijeva kontrolu razmnožavanja, kontrolu rasta i eliminaciju prirodnih uzročnika smrti (Gavrilović i sur., 2014).

Tehnologija kontroliranog mrijesta i industrijskog kaveznog uzgoja počela se razvijati u Hrvatskoj krajem 70-ih godina. Posljednjih je godina došlo do snažnog razvoja marikulture (Katavić, 2001). Marikultura u Istarskoj županiji bazira se na uzgoju lubina i komarče (brancin i orada) te dagnji i kamenica.

Dugo vremena je osnovni cilj marikulture bio proizvesti što više ribe, dok je utjecaj uzgoja na morski okoliš bio gotovo u cijelosti zanemaren. S druge strane, poput svake proizvodnje, marikultura proizvodi otpad čija organska frakcija može dovesti do hipernutrikacije, odnosno povećanja otopljenih hranjivih soli u okolnoj morskoj vodi, prvenstveno dušika i fosfora. U nekim situacijama povećana koncentracija hranjivih soli može dovesti i do eutrofikacije koja se manifestira povećanom fitoplanktonskom produkcijom, nerijetko i proliferacijom, po ekosustav i zdravlje čovjeka, opasnih toksičnih fitoplanktona (Katavić, 2006).

Premda je intenzivna marikultura obilježena kao ona koja negativno utječe na okoliš, mnogi od spominjanih negativnih učinaka nisu znanstveno dokumentirani. Utjecaj emisije dušika i fosfora što ih proizvodi riblja farma u

obliku fecesa ili nepojedenih ostataka hrane nema veće značenje za morski ekosustav i općenito je od male važnosti u usporedbi s unosom što ga čine drugi korisnici obalnih resursa. Utjecaj na sediment i pridnene zajednice uglavnom je lokalni i kratkotrajan, te ovisi o broju i veličini farmi, kao i o obilježjima same lokacije (Katavić, 2003).

1.2. Uvala Budava

Uvala Budava, nalazi se na istočnoj strani istarskog poluotoka. Uvala se proteže smjerom jugoistok – sjeverozapad. U potpunosti je nenaseljena sa skoro netaknutim kopnenim dijelom. Duga je oko 2,5 km. Na vratima je široka oko 550 m, a u središnjem dijelu 400 m. U krajnjem sjeverozapadnom dijelu je vrlo plitka - oko 1 metar - dok je na ulazu dubina oko 40 m. U središnjem dijelu dubina je oko 20 metara.

Tijekom godine prevladava vjetar iz smjera sjeveroistok (bura) te istok (levant). Učestalost ovih smjerova je najmanja ljeti. Također značajno je zastupljen smjer jugoistok (jugo), posebno u proljeće. Ljeti su vjetrovi iz smjera sjeverozapad (maestral) i zapad (grbin) učestaliji.

Pripadajuće obalno more bitno se ne razlikuje od akvatorija Kvarnerskog zaljeva, čiji je sastavni dio, sa svim njegovim karakteristikama, od temperature, gibanja mora, do ekološke opterećenosti. Učestalost mirnog mora je 15% u prosincu, do 56% u srpnju. Smjer valova je izrazito promjenjiv. U jesen i početkom zime nešto je učestaliji smjer sjeveroistok u odnosu na preostale smjerove. Maksimalna visina vala od bure iznosi oko 3,5 m (u veljači), od juga oko 2,5 m, a za ostale smjerove oko 1,5 m.

Morske mijene ili kolebanje razine mora mješovitog su tipa. Nivo morske vode koleba u prosjeku unutar vrijednosti -0,20 i +0,40 m. Grijanje površinskog sloja mora u priobalnom području počinje u pravilu u travnju, otprilike mjesec dana kasnije nego što je slučaj za zrak. Do tada je more u prosjeku oko 4°C toplije od zraka. Maksimalna temperatura mora (na površini) dosegne u kolovozu (oko 23,5°C) a minimalna je u veljači (oko 10°C). Salinitet je između 32 i 37 ‰.

Istočna obala Istre od rta Malera do uvale Budava i dalje do uvale Duga je praktički nenaseljena. Nešto vikend kuća smještenih dalje od obale ima oko uvale Kavran te uvale Sv. Nježa. Tek se u uvali Duga nalazi veće apartmansko naselje. Stoga se može ustvrditi da je veliki dio obale sjeverno i južno od uvale Budava bez pritiska bilo kakvih antropogenih otpadnih voda s kopna (Tudor i sur., 2010). Također, uvala je dugo godina bila pod zaštitom vojske te je zbog toga priroda u uvali i oko uvale u potpunosti netaknuta.

Rezultati mjerenja struja u uvali na dvije postaje, jednoj unutar i jednoj bliže vratima uvale pokazali su da tijekom jesenskog razdoblja prevladava višeslojno strujanje, s izlaznom strujom u površinskom i pridnenom sloju te ulaznom strujom u srednjem sloju. Iako su zabilježene struje relativno slabe, takva cirkulacija je relativno povoljna za prozračivanje uvale. U vanjskom dijelu uvale javlja se i vrtložno strujanje zbog kompleksnije topografije dna i postojanja manjih uvala. Čišće vodene mase iz otvorenog mora pretežito ulaze u uvalu u srednjem sloju, dok se površinska voda strujama odnosi prema otvorenom moru (Tudor i sur., 2010).

1.3. Trofički status i eutrofikacija

Trofički status vodenog tijela je biološko stanje uzrokovano nizom različitih faktora. On opisuje količinu biološke aktivnosti u nekom vodenom tijelu. Neki od faktora koji utječu na trofički status su donos dušika i fosfora koji su osnovni faktori za primarnu proizvodnju (Puscedu i sur., 2011). U morima glavni primarni proizvođači su mikroalge i cijanobakterije, a u manjoj mjeri makroalge i drugi biljni organizmi. Njihov se broj u slučaju veće dostupnosti dušika ili fosfora povećava te samim time trofički status mijenja, odnosno raste. Vodena tijela se na temelju trofičkog statusa mogu podijeliti na ona male biološke produktivnosti – oligotrofna, srednje produktivnosti – mezotrofna i ona visoke biološke produktivnosti – eutrofna (Carlson i Simpson, 1996).

Trofički status značajno olakšava klasifikaciju vodenih tijela i samim time predstavlja važan alat u zaštiti i gospodarenju obalnim područjima (Dell' Anno

i sur., 2002) odnosno praćenje promjene njihovog trofičkog statusa uz odgovarajuće mjere u slučaju neočekivanih promjena (Puscedu i sur., 2011).

Eutrofikacija je proces obogaćivanja vodenog staništa hranjivim solima koji dovodi do porasta fitoplanktonske biomase, te do povećanog protoka partikularne organske tvari prema dnu. U pridnenom sloju i na površini sedimenta odvijaju se intenzivni procesi bakterijske razgradnje koji troše kisik. Eutrofikacija se događa kao prirodni proces koji se odvija sporo, ali postaje problem kada se znatno ubrzava zbog utjecaja čovjeka (antropogena eutrofikacija).

Posljedice eutrofikacije su fitoplanktonske cvatnje, koje mogu biti netoksične i toksične, te hipoksija i anoksija. Prirodni uzroci eutrofikacije su uzdizanje mora (*upwelling*), promjene u režimu puhanja vjetra te promjene u režimu cirkulacije vode. Ljudska aktivnost može znatno ubrzati unos hranjivih soli u ekosustav. Ispiranje poljoprivrednih površina i površina farmi, zagađenje iz septičkih sistema i kanalizacijskih ispusta, kao i ostale ljudske aktivnosti dovode do povećanog dotoka anorganskih hranjivih soli i organske tvari u ekosustav. Povišene količine spojeva dušika u atmosferi nastale ljudskom djelatnošću, mogu dovesti do veće dostupnosti dušikovih spojeva u vodenim ekosustavima.

Posve specifična biotska i abiotska obilježja Jadrana u usporedbi sa hladnim morima sjevernog klimatskog pojasa umnogome određuju sudbinu otpadnih produkata kaveznog uzgoja ribe u njegovu prirodnom okolišu. Temperatura mora u rasponu od 10 do 25°C razlog je izvanredno brzog metabolizma, što utječe i na proizvodnju same ribe i na mikrobiološku aktivnost. Prevladavajuća oligotrofija Jadrana posljedica je razmjerno niske koncentracije hranjivih soli i niske razine fitoplanktonske (primarne) proizvodnje, što je tipična osobina Sredozemlja kao slabo produktivnoga morskog ekosustava, osobito u njegovu istočnom dijelu koji je u doticaju s Jadranom (Azov, 1986; Pucher – Petković i Marasović, 1987; Marasović i sur, 1988). Razmjerno mala biomasa fitoplanktona uvjetuje veliku prozirnost vode, te je time omogućena fotosinteza i u dubljim slojevima, što pogoduje razvoju osebujne biološke raznolikosti. Primarna proizvodnja limitirana je fosforom, za razliku od primarne proizvodnje u Atlantiku i u većini svjetskih oceana, u kojima je limitirajući čimbenik dušik (Gilmartin i Revelante, 1983; Krom i sur, 1991). S obzirom na navedeno,

eutrofikacija se u Jadranu može očekivati tek u uvjetima povećanog unosa fosfora u ekosustav (Ivančić, 1995).

1.4. Hranjive soli u vodenom stupcu

Hranjive soli su anorganski spojevi dušika (amonijeve soli, nitriti i nitrati), fosfora (ortofosfati) i silicija (ortosilikati) otopljeni u morskoj vodi koji imaju važnu ulogu u procesima primarne proizvodnje organske tvari i ograničavaju brzine ovih procesa. (Cullen i sur., 1992). Te soli spadaju u mikrokonstituyente i znatno variraju u vremenu i prostoru.

Uz sunčevu svjetlost, elemente u tragovima i ugljični dioksid, hranjive soli su nužne za odvijanje fotosinteze u morskom okolišu. Navedeni se elementi procesom fotosinteze pretvaraju u aminokiseline, proteine i nukleinske kiseline te se nakon smrti organizama, sedimentacije i heterotrofne razgradnje remineraliziraju. Produkti razgradnje se kao otopljene anorganske soli (amonijeve soli, nitriti, nitrati i ortofosfati) vraćaju u vodeni stupac. Neki fitoplanktonski organizmi osim dušika i fosfora koriste i otopljeni silicij (ortosilikate) za gradnju svojih ljušturica, a regeneracija ovog elementa odvija se putem fizičko-kemijskog otapanja istaloženog biogenog opala. Opisani procesi ne predstavljaju čitave biogeokemijske cikluse ovih elemenata. Dio elemenata se trajno gubi iz ciklusa (zatrpavanjem u sedimentu, adsorpcijom na minerale, pretvaranjem u plinovito stanje), ali se i nadoknađuje dotokom rijekama, podzemnim vodama ili atmosferskim donosom što konačno uravnotežuje morske ekosustave. Otopljene soli anorganskog dušika u prirodnim vodama se javljaju u oksidiranom (nitrat, nitrit) i u reduciranom obliku (amonijeve soli). Zbog relativno brzih procesa oksidacije i redukcije ovih spojeva, za procjenu stanja eutrofikacije morskog okoliša kao element kriterija koristi se ukupni otopljeni anorganski dušik DIN ($\text{DIN} = \text{suma } \text{NO}_3^-, \text{NO}_2^- \text{ i } \text{NH}_4^+$). Ostali elementi kriteriji korišteni za procjenu stanja su otopljeni anorganski fosfor i ukupni otopljeni fosfor u vodenom stupcu (Matijević i sur., 2008).

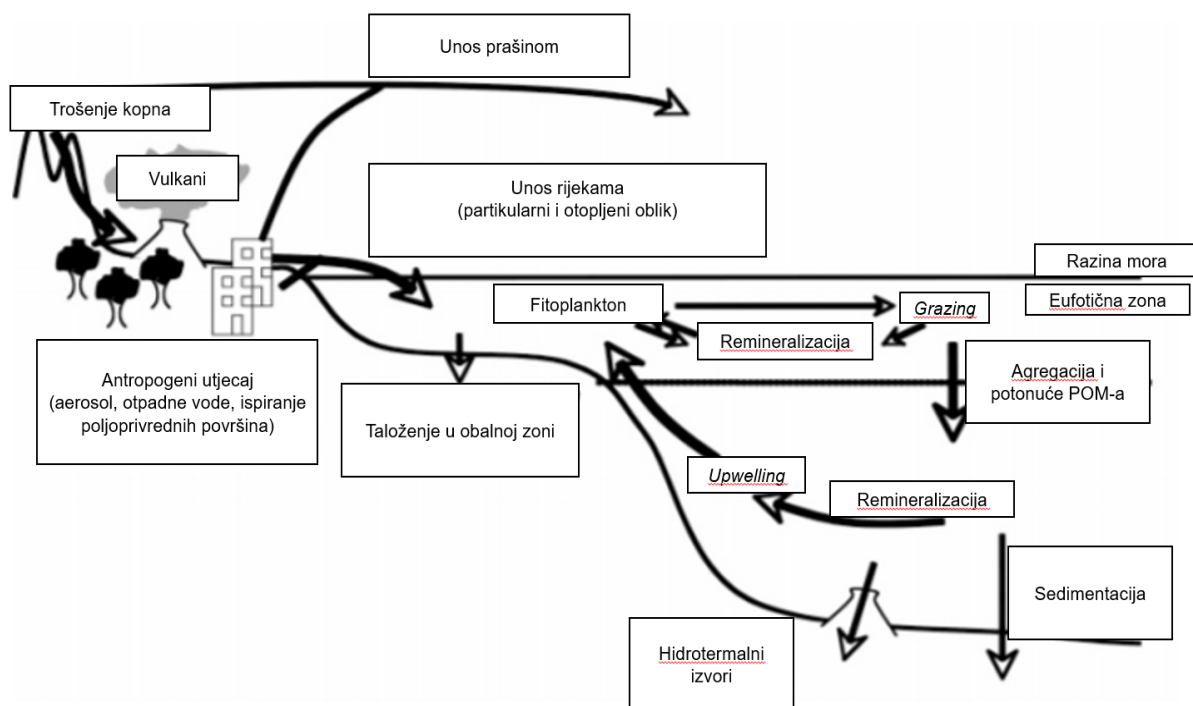
1.5. Fosfor u sedimentu

Fosfor (P) je bitan element te strukturna i funkcionalna komponenta svih organizama. Njegova dostupnost može utjecati na primarnu proizvodnju, kao i distribuciju vrsta i struktura ekosustava. (Paytan i sur., 2007). Ograničavajući je čimbenik u nekim oceanskim sustavima.

Otopljeni reaktivni fosfor (PO_4) prisutan u morskoj vodi se primarnom proizvodnjom pretvara u partikularni organski fosfor čija je sedimentacija najznačajniji način prijenosa reaktivnog fosfora iz vodenog stupca u sediment (Benitez-Nelson, 2000). Tijekom sedimentacije u vodenom stupcu započinje i remineralizacija fosfora koja se nastavlja u sedimentu (Faul i sur., 2005). Dodatni izvori reaktivnog partikularnog fosfora u sedimentu (osim organskog oblika) su ortofosfat adsorbiran na željeznim oksidima i riblji materijal (Froelich i sur., 1982). Inertni oblik partikularnog fosfora koji dospijeva u sediment je porijeklom s kopna i u sedimentu je uglavnom u obliku detritusnog apatita (Ruttenberg i Berner, 1993; Filipelli i Delaney, 1996). Biološkim i geokemijskim transformacijama tijekom dijageneze započinju procesi kruženja fosfora u sedimentu.

Izvori fosfora su trošenje kopna, vulkani i antropogeni čimbenici (aerosol, otpadne vode, ispiranje poljoprivrednih površina). Fosfor se u oceane dostavlja putem vjetra, a najvećim djelom rijekama i to u partikularnom ili otopljenom obliku. Kad dospije u ocean, asimilacijom ulazi u fitoplankton kojim se hrani zooplankton i kroz hranidbenu mrežu ulazi u trofički sustav. Ugibanjem organizama dio organskog fosfora (POM) biva raspršen u vodenom stupcu a dio se sedimentira. Iz sedimenta se oslobađa te se procesom turbulentne difuzije kroz stalnu piknoklinu, ili u nekim područjima s izrazitim uzdizanjem mora (*upwelling*), vraća u površinski sloj oceana (Paytan i McLaughlin, 2007). U plićim obalnim područjima konvektivno miješanje, koje nastaje hlađenjem mora, predstavlja glavni mehanizam dovođenja ortofosfata, kao i drugih hranjivih soli do površinskog sloja, pa sve do njihovog ravnomjerne raspodjele u vodenom stupcu.

Za razliku od dušika, koji se djelomično može izgubiti uslijed denitrifikacije (Risgaard-Petersen i sur., 2003), fosfor ostaje sačuvan u nizu frakcija kao posljedica procesa adsorpcije, otapanja ili taloženja (Froelich i sur., 1988; Benitez-Nelson, 2000; Paytan i sur., 2003; Faul i sur., 2005) i stoga je koristan kao indikator utjecaja na okoliš.



Slika 1. Ciklus fosfora (preuzeto iz Paytan i McLaughlin, 2007).

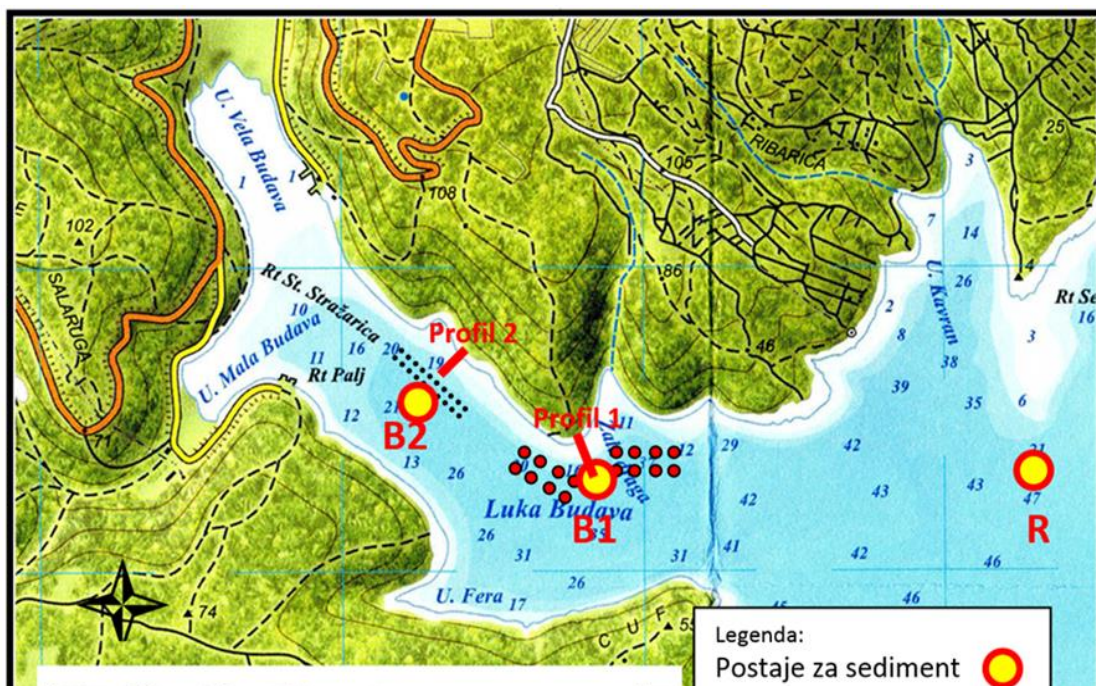
2. CILJ

Cilj rada bio je utvrditi eutrofne uvjete u uvali Budava 2017. godine analizom parametara u vodenom stupcu i površinskom sedimentu na postajama u neposrednoj blizini kaveza za uzgoj ribe i na postaji koja nije pod direktnim utjecajem uzgajališta te ih međusobno usporediti. Nadalje, za interpretaciju trofičkog statusa vodenog stupca navedenih postaja, koristili su se kriteriji za stupanj eutrofikacije razrađeni za područje mora u kojem je kao i u sjevernom Jadranu, fosfor ograničavajući element za primarnu proizvodnju.

3. METODE

3.1. Uzorkovanje u uzgajalištu Budava

Uzorkovanje je obavljeno 5. prosinca 2017. Uzorci su uzeti na dvije postaje na području uzgajališta (B1 i B2) te na jednoj kontrolnoj postaji smještenoj istočno (R). Uzorci morske vode uzeti su Niskinovim crpcima na standardnim oceanografskim dubinama, za postaju B2 (0, 5, 10 i 22 m), za postaju B1 (0, 5, 10, 20 i 34 m) te za kontrolnu postaju R (0, 5, 10, 20 i 44 m). Uzorke sedimenta u blizini kaveza uzeo je autonomni ronilac zabijanjem plastičnog cilindra Ø5 cm u morsko dno, a na kontrolnoj postaji spuštalo se Van Veenovo grabilo.



Slika 2. Položaj postaja za uzimanje uzoraka sedimenta (B1, B2 i R; preuzeto iz Tudor i sur., 2010).

3.2. Određivanje parametara u vodenom stupcu

3.2.1. Prozirnost

Prozirnost morske vode je određivana pomoću Secchi diska (Parsons i sur., 1985) a ovisi o količini suspendiranih čestica u moru.

3.2.2. Temperatura

Temperatura je mjerena CTD sondom (*Conductivity Temperature Density*) (Parsons i sur., 1985). Radilo se kontinuirano mjerenje odnosno mjerenje temperature na svim dubinama, od površine pa do željene dubine. Sondu je potrebno redovito kalibrirati.

3.2.3. Salinitet

Salinitet se određuje kao vrijednost omjera konduktiviteta uzorka i standarda (IAPSO standardna morska voda) laboratorijskim salinometrom. Polietilenske boce volumena 250 mL pune se do vrha uzorkom morske vode iz crpaca i zatvaraju čepom i podčepom, kako bi se spriječilo otapanje CO₂. U bocama ne smije biti mjehurića zraka. Za određivanje saliniteta korišten je RBR Precision Instruments Microsalinometer – 310 (Parsons i sur., 1985).

3.2.4. Otopljeni kisik

Koncentracija otopljenog kisika u uzorku određuje se jodometrijskom titracijom po Winkleru. Staklena bočica baždarenog volumena napuni se uzorkom morske vode i doda 1 mL otopine manganovog klorida (MnCl₂·4H₂O; 500 g L⁻¹) i 1 mL lužnate otopine kalijevog jodida (NaOH; 500 g L⁻¹ i KI; 100 g L⁻¹). Dolazi do nastajanja taloga manganovog hidroksida, koji se nakon nekoliko puta mućkanja sadržaja bočice i dekantiranja bistrog supernatanta otopi u 1 mL razrijeđene sulfatne kiseline (1:1). Pri tome Mn³⁺ ion oksidira jodidni ion u elementarni jod koji se titrira otopinom natrijevog

tiosulfata ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$; $0,2 \text{ mol L}^{-1}$) uz otopinu škroba kao indikatora. Otopina natrijevog tiosulfata standardizira se otopinom kalijevog bikromata ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; 1 mol L^{-1}). Sadržaj otopljenog kisika izražen je kao volumni omjer. Udio zasićenja kisikom izračunava se kao omjer izmjerenog volumnog udjela kisika i volumnog udjela zasićenja kod određene temperature i saliniteta (UNESCO, 1986).

3.2.5. Određivanje hranjivih soli

Za analize se koriste nefiltrirani uzorci da bi se izbjegla mogućnost kontaminacije filtrima.

3.2.5.1. Amonijeve soli

Uzorku morske vode od 50 mL dodaje se 2 mL otopine fenola u etanolu (100 g L^{-1}) i promućka, zatim 5 mL miješanog reagensa pripremljenog od jednog dijela otopine natrijevog diklorizocijanurata ($\text{C}_3\text{Cl}_2\text{N}_3\text{NaO}_3$; 4 g L^{-1}) i jednog dijela alkalne otopine natrijevog citrata ($400 \text{ g C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3$ i 32 g NaOH u 1 L deionizirane vode) i nakon mućkanja, 2 mL otopine natrijevog nitroprusida ($\text{Na}_2\text{FeNO}(\text{CN})_5$; 5 g L^{-1}) kao katalizatora i ponovno promiješa. Uzorci se drže u mraku na oko 25°C , a ekstinkcija se mjeri nakon tri sata kod valne duljine od 635 nm (Parsons i sur., 1985).

3.2.5.2. Nitriti

Uzorku od 50 mL dodaje se 1 mL otopine sulfanilamida ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2\text{N}_2\text{S}$; 10 g L^{-1}) i dobro promućka. Nakon 2-8 minuta dodaje se 1 mL otopine N-(1-naftil)-etilendiamin dihidroklorida ($\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2\text{CH}_3\text{OH}$; 1 g L^{-1}) i ponovno promućka. Nakon otprilike 5-10 minuta mjeri se ekstinkcija nastale boje kod valne duljine od 542 nm . Otopine reagensa stabilne su nekoliko mjeseci (Parsons i sur., 1985).

3.2.5.3. Nitrati

Nitrat se određuje metodom redukcije u nitrit prolaskom uzorka kroz redukcijsku kolonu napunjenu strugotinama kadmija veličine 0,5-2 mm, prevučenim bakrom. Da bi se spriječilo taloženje kadmijevih iona propuštanjem kroz kolonu, uzorku od 50 mL dodaje se 1 mL otopine amonijevog klorida (NH_4Cl ; 250 g L^{-1}) dobro promućka i propusti kroz redukcijsku kolonu. Prvih 20 mL se ne koristi, a u preostalih 30 mL se određuje nitrit prema gore opisanom postupku. Upotrebom kolona većih dimenzija (promjera 0,8 cm i dužine 23 cm) spriječeno je smanjivanje efikasnosti redukcije pri višim koncentracijama ortofosfata.

Iz razlike u ekstinkciji za nitrit dobiven prije i nakon redukcije izračunava se koncentracija nitrata (Parsons i sur., 1985).

3.2.5.4. Ortofosfat

Uzorku morske vode od 50 mL dodaje se 5 mL miješanog reagensa, a sastoji se od jednog dijela amonij-heptamolibdata-tetrahidrata ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \times 4\text{H}_2\text{O}$, 30 g L^{-1}); 2,5 dijela razrijeđene sulfatne kiseline ($140 \text{ mL H}_2\text{SO}_4 + 900 \text{ mL}$ deionizirane vode), 1 dijela L(+) askorbinske kiseline ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$; 54 g L^{-1}) i 0,5 dijela kalij-antimonil-tartarata ($\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$; $1,36 \text{ g L}^{-1}$). Nakon 10 minuta mjeri se ekstinkcija plave boje kod valne duljine od 889 nm. Svi reagensi osim askorbinske kiseline su stabilni nekoliko mjeseci, dok se ona mora čuvati na -30°C (Parsons i sur., 1985).

3.2.5.5. Klorofil a

Određuje se fluorimetrijski tako da se uzorci najprije filtriraju kroz mrežu veličine pora $240 \mu\text{m}$ da bi se odvojio krupniji zooplankton. Nakon toga se 0,5 L uzorka vakuum filtracijom filtrira kroz stakleni filter (Whatman GF/C), promjera 4,5 cm i veličine pora $1,2 \mu\text{m}$ uz dodatak 2 mL otopine magnezijevog karbonata (MgCO_3 ; 10 g L^{-1}). Pomoću staklenog štapića

filter se utisne na dno plastične epruvete i homogenizira s 5 mL 90 % acetona. Nakon 3 h ostavljenih u tamnom, uzorci acetonskog ekstrakta se centrifugiraju 8 minuta pri 5600 rpm, nakon čega se na fluorimetru mjeri fluorescencija supernatanta. Za kalibraciju se koristi otopina klorofila a ekstrahiranog iz prirodne populacije fitoplanktona čija je koncentracija prethodno određena spektrofotometrijski (Ivančić i Degobbis., 1984).

3.3. Određivanje ukupnog, anorganskog i organskog fosfora te redoks potencijala u sedimentu

Poznavanje različitih oblika fosfora u sedimentu od velike je važnosti za razumijevanje ciklusa fosfora te je s obzirom na to razvijeno više analitičkih metoda određivanja pojedinih frakcija. Osnovna i najšire primjenjivana metoda je određivanje organskog i anorganskog fosfora prema Aspili i sur. (1976).

Uzorci sedimenta na postajama sakupljeni su ručnim PVC korerima zahvatne površine 10 cm² (od strane ronilaca ukoliko je uzorkovanje grabilom bilo nemoguće obaviti) te Van Veenovim grabilom zahvatne površine 0,1 m². Iz korera i grabila izdvojen je površinski sloj sedimenta (0-2 cm) i spremljen u zamrzivač. Za analizu koncentracije ukupnog i anorganskog fosfora u sedimentu, smrznuti su uzorci liofilizirani, zatim usitnjeni i prosijani na situ promjera otvora <250 µm. Od svakog osušenog i usitnjenog poduzorka je odvagano oko 0,35 g sedimenta i preneseno u polietilenske bočice za daljnje određivanje anorganskog fosfora.

Za određivanje ukupnog fosfora ostatak osušenog poduzorka je žaren u peći za žarenje 2 sata na 550°C u lončićima za žarenje. Od svakog žarenog poduzorka odvagano je oko 0,35 g sedimenta i također preneseno u polietilenske bočice.

U svaku je polietilensku bočicu s osušenim i žarenim poduzorkom sedimenta dodano 35 mL 1 M HCl i ekstrahirano po 16 sati na tresilici. Koncentracije ortofosfata u ekstraktantu su određene na Shimadzu spektrofotometru UV-VIS 1800 (double-beam), prema standardnim oceanografskim metodama za ortofosfat (Parsons i sur., 1985).

Koncentracija organskog fosfora u sedimentu je dobivena računski iz razlike koncentracija ukupnog i anorganskog fosfora tj. razlike koncentracije P u sedimentu žarenog i sušenog uzorka.

Redoks potencijal dobiven je mjerenjem u netaknutoj jezgri sedimenta nakon uzimanja uzoraka u laboratoriju. Nakon standardizacije, obje korištene elektrode isprane su u destiliranoj vodi i uronjene u gornju morsku vodu uzoraka sedimenta. Nakon postavljanja potencijala ravnoteže, Pt elektroda je gurnuta u sediment od 0,5 cm do dubine od 6-10 cm i zabilježen je potencijal (Matijević i sur., 2007).

3.4. Obrada podataka

U ovom radu su se koristili i obradili podaci koji opisuju raspodjelu pojedinih parametara na tri istraživane postaje u vodenom stupcu (prozirnost, koncentracija klorofila a, temperatura, salinitet, udio otopljenog kisika, udio zasićenja kisikom, koncentracija hranjivih soli (amonija, nitrata, nitrita i ortofofata) i sedimentu (redoks potencijal, ukupni i anorganski fosfor) za uzorkovanja obavljena 5. prosinca 2017. godine. Za utvrđivanje da li je između istraživanih postaja bilo statistički značajnih razlika u koncentraciji pojedinih parametara te da li je došlo do odstupanja od prosječnih vrijednosti, korišteni su ANOVA, F-test i Studentov t-test. Podaci su statistički i grafički obrađeni na PC korištenjem programa Microsoft Excel 2010.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Vodeni stupac

Prozirnost (Z_s) na postajama u području kaveza (9,5-10 m) bila je neznatno manja nego na referentnoj postaji (Tablica 1). Vrijednosti temperature (t) bile su ujednačene u vodenom stupcu uz prosjek od $13,83 \pm 0,08^\circ\text{C}$. Rasponi saliniteta (S) ispod površinskog sloja kretali su se od 37,9 do pridnenih 38,2 i uobičajeni su za Kvarnersko područje (CIM, baza podataka). Salinitet gornjeg dijela vodenog stupca bio je malo, ali značajno niži nego u dubljim slojevima. Ova razlika dovela je do raslojavanja vodenog stupca, iako minimalnog. Najniža je vrijednost (36,69) izmjerena na površini referentne postaje.

Tablica 1. Vrijednosti prozirnosti, temperature, saliniteta, koncentracije i zasićenja kisikom te koncentracije klorofila a i hranjivih soli na različitim dubinama vodenog stupca istraživanih postaja.

Postaja	B2				B1					R				
z/m	0	5	10	22	0	5	10	20	34	0	5	10	20	44
z_s/m	9,5				10					10,5				
$c(\text{Chl } a)/\mu\text{g L}^{-1}$	0,45	0,45	0,42	0,64	0,45	0,47	0,49	0,65	0,63	0,45	0,54	0,53	0,52	0,65
$t/^\circ\text{C}$	13,79	13,85	13,98	14,01	13,27	13,56	14,13	13,94	13,90	13,11	14,08	14,04	13,99	13,88
S	37,64	37,85	38,01	38,13	37,51	37,75	38,07	38,08	38,21	36,69	38,03	38,06	38,08	38,23
$\varphi(\text{O}_2) \cdot 10^3$	5,15	5,29	5,24	5,30	5,57	5,38	5,46	5,37	5,38	5,63	5,58	5,47	5,54	5,36
$\varphi(\text{O}_2/\text{O}_2') \cdot 10^2/\%$	90	93	92	93	96	94	96	94	94	96	98	96	97	94
$c(\text{NH}_4^+)/\mu\text{mol L}^{-1}$	1,39	1,28	1,71	1,16	0,94	1,20	0,77	0,63	0,70	0,39	0,30	0,28	0,29	0,41
$c(\text{NO}_3^-)/\mu\text{mol L}^{-1}$	1,54	1,33	0,83	0,64	2,13	1,57	0,83	0,69	0,71	3,03	0,77	0,74	0,71	0,79
$c(\text{NO}_2^-)/\mu\text{mol L}^{-1}$	0,25	0,25	0,26	0,35	0,31	0,29	0,28	0,29	0,35	0,26	0,27	0,27	0,28	0,31
$c(\text{PO}_4^{3-})/\mu\text{mol L}^{-1}$	0,07	0,09	0,07	0,27	0,06	0,07	0,05	0,03	0,18	0,06	0,02	0,02	0,02	0,07

Tablica 2. Rezultati Studentovog T-testa ($p < 0,05$) za vrijednosti klorofila *a* (Chl *a*), zasićenja kisikom (φ (O_2/O_2')), koncentracije ortofosfata (PO_4^{3-}), amonija (NH_4^+), nitrata (NO_3^-) i nitrita (NO_2^-) između postaja B2, B1 i R u 2017. godini.

	p vrijednosti	B2	B1	R
Chl a	B2		0,5101	0,4327
	B1	0,5101		1,0000
	R	0,4327	1,0000	
φ (O_2/O_2')	B2		0,0121	0,0035
	B1	0,0121		0,1280
	R	0,0035	0,1280	
PO_4^{3-}	B2		0,3971	0,1827
	B1	0,3971		0,2004
	R	0,1827	0,2004	
NH_4^+	B2		0,0109	0,0033
	B1	0,0109		0,0045
	R	0,0033	0,0045	
NO_3^-	B2		0,7963	0,8315
	B1	0,7963		0,9700
	R	0,8315	0,9700	
NO_2^-	B2		0,2912	0,9520
	B1	0,2912		0,0724
	R	0,9520	0,0724	

Koncentracija klorofila *a* (Chl *a*) bila je niska (0,45 do 0,65 $\mu g L^{-1}$; Tablica 1) u čitavom vodenom stupcu i bez značajnih statističkih razlika između postaja (Tablica 2). Niže su vrijednosti izmjerene u gornjem dijelu vodenog stupca (Slika 2a). Ove vrijednosti ukazuju na minimalnu fitoplanktonsku primarnu proizvodnju. Vrijednosti zasićenja kisikom (φ (O_2/O_2')) kretale su se u rasponu od 90% (B2) do 98% (R). Na postajama B1 i B2 vrijednosti su bile malo, ali ipak statistički značajno niže nego na referentnoj (Tablica 2; Slika 2b). U pridnenim slojevima, vrijednosti nisu bile niže od 93% što potvrđuje dobru prozračenost čak i na postajama ispod kaveza u uvjetima minimalnog raslojavanja vodenog stupca. Ove vrijednosti također ukazuju na minimalnu biološku aktivnost fitoplanktona, ali i nešto značajniju aktivnost mikroheterotrofa postaja u blizini kaveza u odnosu na referentnu. Ova aktivnost je prevladavala nad fotosintetskog proizvodnjom kisika, što je dovelo do tog podzasićenja.

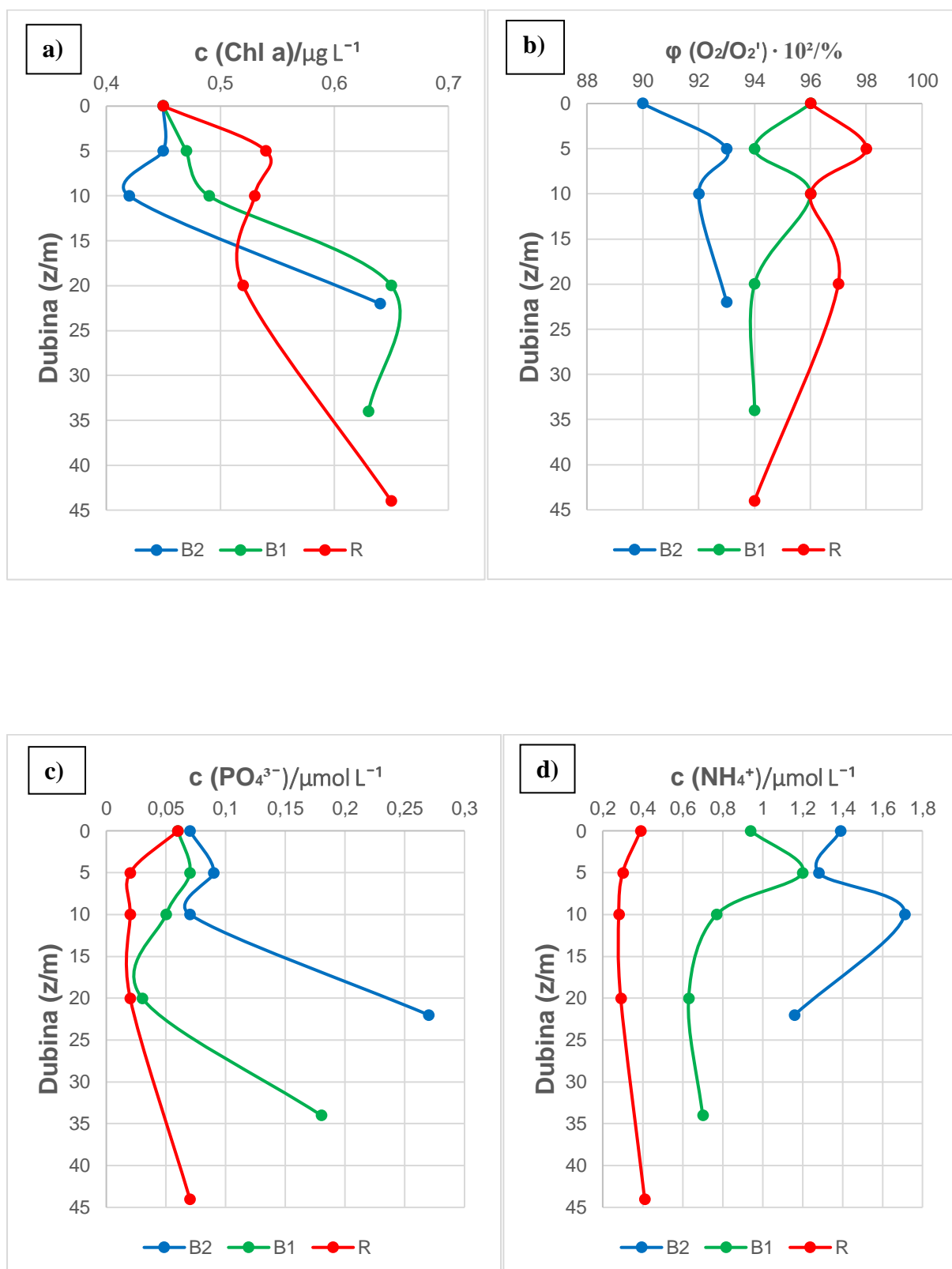
Vrijednosti koncentracije hranjivih soli bile su niske (Tablica 1), u rasponu za područja Kvarnera koja nisu pod znatnim utjecajem krških podzemnih voda (npr. Degobbis, 1983). Od dušikovih hranjivih soli najviša je bila koncentracija nitrata ($0,6-3,0 \mu\text{mol L}^{-1}$). Koncentracija nitrita (NO_2^- ; $0,25-0,35 \mu\text{mol L}^{-1}$) bila je malo niža u gornjem dijelu vodenog stupca svih postaja (Slika 2f). Vrijednosti za amonij (NH_4^+ ; $0,3-1,7 \mu\text{mol L}^{-1}$) nisu se značajno razlikovale u vodenom stupcu unutar samih postaja, ali su bile više na postajama u području kaveza nego na referentnoj (Slika 2d). Također je i koncentracija ortofosfata (PO_4^{3-}) bila viša u području oko kaveza ($0,03-0,27 \mu\text{mol L}^{-1}$), posebno u pridnenom sloju (Slika 2c), u odnosu na referentnu postaju ($0,02-0,07 \mu\text{mol L}^{-1}$).

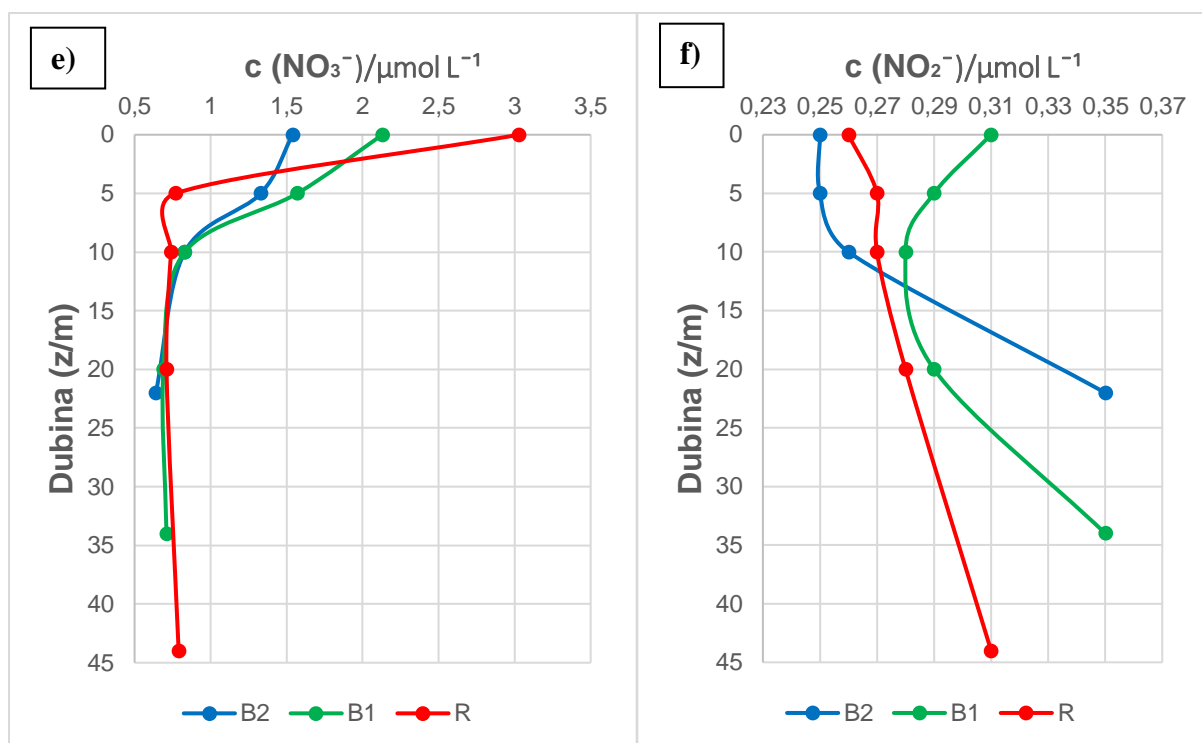
Koncentracije nitrata (Slika 2e; Tablica 1) bile su više u površinskom sloju svih istraživanih postaja u odnosu na pridneni sloj. Ove se razlike mogu pripisati utjecaju podzemnih voda i vrulja koje su prisutne u velikom dijelu Kvarnerskog područja (Degobbis, 1983). Ove su vode znatno bogatije nitratom u odnosu na druge dušikove soli. To potvrđuje i neznatno, ali ipak niži površinski salinitet. Najnižem salinitetu na površini referentne postaje odgovarale su najviše vrijednosti koncentracije nitrata.

Općenito su u srednjem sloju vrijednosti hranjivih soli bile niže nego u površinskom i pridnenom sloju (Tablica 1 i Slika 2).

Iako je raslojavanje vodenog stupca bilo minimalno, još uvijek se ortofosfat nagomilavao u pridnenom sloju postaje 1 i 2. Njegova je regeneracija na površinskom sedimentu brža nego za dušik. Statistička je analiza pokazala značajnu razliku između koncentracije na ovim postajama u odnosu na referentnu, iako na granici izabrane vjerojatnosti $p < 1,000$ (Tablica 2). Za koncentraciju amonija također je dobivena statistički značajna razlika u odnosu na referentnu postaju, iako manje izražena i između postaja 1 i 2 (Tablica 2). Najviše su vrijednosti izmjerene na postaji 2 (Slika 2d). Naime, ovi su spojevi prvi proizvodi kod regeneracije hranjivih soli. Za razliku od ortofosfata, regeneracija amonija, čija je koncentracija u području kaveza bila viša u gornjem dijelu vodenog stupca, značajnije je ovisila o ekskreciji riba nego o raspadu organske tvari deponirane na dnu. Vertikalna je raspodjela amonija bila u korelaciji s raspodjelom udjela zasićenja kisikom između postaja (Slika 2b).

Koncentracije nitrata i nitrita nisu se statistički razlikovale između postaja u blizini kaveza (Tablica 2).





Slika 3. Vertikalni profil **a)** koncentracije klorofila *a* (Chl *a*), **b)** udjela zasićenja kisikom ($\phi(\text{O}_2/\text{O}_2')$), **c)** koncentracije ortofosfata (PO_4^{3-}), **d)** amonija (NH_4^+), **e)** nitrata (NO_3^-) i **f)** nitrita (NO_2^-) u vodenom stupcu istraživanih postaja u prosincu 2017. godine

4.2. Sediment

4.2.1. Redoks potencijal

Vrijednosti redoks potencijala u površinskom sloju (0-10 cm) sedimenta kretale su se u rasponu od -141 do -322 mV (Tablica 3) ukazujući na anoksične uvjete u sedimentu već od prvog centimetra. Nešto niže vrijednosti zabilježene su na postaji B1, vjerojatno kao rezultat izrazitije sedimentacije organske tvari (neiskorištena hrana i metaboliti riba u uzgoju). Općenito su negativne E_H vrijednosti i plitki redoks prijelazi u sedimentima Jadrana ustanovljeni za područja visoke produktivnosti u vodenom stupcu (eutrofni zaljevi, gradske luke, postaje u blizini ispusta otpadnih voda, uzgajališta ribe (Matijević i sur., 2007). Osim toga, reducirajući uvjeti u sedimentu uvale Budava ukazuju da se u tom poluzatvorenom području odvija sedimentacija organske tvari, ali su djelomično i uzrokovani lokalnim

ekološkim karakteristikama zaljeva – npr. prirodnom eutrofikacijom i tipom sedimenta.

Tablica 3. Vrijednosti redoks potencijala i koncentracije ukupnog (TP) i anorganskog (AP) fosfora u sedimentu istraživanih postaja.

Postaja	B2	B1	R
Sloj (cm)	E_H/mV	E_H/mV	E_H/mV
0-1	-182	-259	-141
1-2	-225	-257	-200
2-3	-235	-255	-205
3-4	-269	-283	-211
4-5	-278	-293	-226
5-6	-279	-296	-230
6-7	-269	-302	-223
7-8	-268	-306	-228
8-9	-270	-311	-230
9-10	-272	-322	-232
M(TP,sed)/ $\mu\text{mol g}^{-1}$	35,23	46,61	12,85
M(AP,sed)/ $\mu\text{mol g}^{-1}$	31,51	38,74	6,17

4.2.2. Fosfor u sedimentu

Ukupni fosfor (TP) određen u površinskom sedimentu (0-2 cm) u području uvale Budave se kretao u rasponu od 12,9 (na referentnoj postaji) do 35,2 (na postaji B2) te do 46,6 $\mu\text{mol/g}$ (na postaji B1; Tablica 3). Koncentracija na referentnoj postaji nalazi se unutar raspona prethodno određenog za sedimente obalnog, kanalskog i područja otvorenog mora Jadrana (6,5-25,8 $\mu\text{mol/g}$), a na postajama ispod kaveza i unutar znatno šireg raspona utvrđenog za eutrofne zaljeve i područja uzgajališta ribe (19-135 $\mu\text{mol/g}$; Matijević i sur., 2008; 2012). Više koncentracije TP u skladu su s tipom

sedimenta ustanovljenim na ovom području. Na postajama B1 i B2 prevladava pjeskoviti sediment uz siltozno-glinovitu frakciju (CIM; baza podataka).

Rasponi koncentracija anorganskog oblika fosfora (AP: 6,2-38,7 $\mu\text{mol/g}$; Tablica 3) na svim istraživanim postajama bili su također tipični za obalna područja pod antropogenim utjecajem (npr. eutrofni zaljevi ili uzgajališta ribe; Matijević i sur., 2008).

Iz Tablice je uočljivo da je na postajama B1 i B2 AP bio značajno viši od koncentracija organskog oblika, uz izračunate prosječne AP/TP u rasponu od 83 do 89 %. Veća količina anorganskog oblika P upućuje na veći donos ovog oblika P u ovo područje ili veći stupanj očuvanja ovog oblika P u sedimentu. Tijekom dijageneze u sedimentu varira sadržaj ukupnog fosfora te dolazi do pretvaranja OP u različite oblike AP, koje primijenjena metoda na istražene uzorke ne razlikuje. Detaljnija analiza ovih oblika bi omogućila bolju interpretaciju dobivenih vrijednosti i uvid u protok fosfora na granici morska voda-sediment. Omjeri AP/TP u sedimentu variraju ovisno o granulometrijskom sastavu, i trofičkom stanju vodenog stupca, odnosno o antropogenom utjecaju.

4.3. Trofički status

Mjerenja su pokazala da uzgoj riba može značajno utjecati na trofički status uvale Budava, iako ograničeno na područje oko kaveza. U prosincu 2017. godine, međutim, ovaj utjecaj nije bio toliki da bi se značajno povisio stupanj eutrofikacije. Naime, i najviše vrijednosti najvažnijih indikatora stupnja eutrofikacije u vodenom stupcu (ortofosfat i ukupni anorganski dušik) kreću se u rasponu koji opisuje oligotrofno stanje (Tablica 4). Kriteriji u Tablici razrađeni su za Baltičko more, u kojem je fosfor, kao i u sjevernom Jadranu, najvažniji ograničavajući element primarne proizvodnje (Hakanson i Brhyn, 2008), pa je stoga opravdavano njihovo korištenje za usporedbu podataka istraživanja u Budavi. Nadalje, usporedba TIN-a iz Budave (kao zbroja koncentracije amonija, nitrita i nitrata) i nitrata iz tablice moguća je, budući da je

termodinamski stabilan u prozračenoj vodi jedino nitrat, u kojeg ostali oblici dušika oksidiraju.

Potrebno je, međutim, istaknuti da je za razliku od stanja u prosincu, tijekom proljeća i ljeti uobičajeno raslojavanje vodenog stupca znatno izraženo, te može doći do povećanog stvaranja organske tvari u procesima intenzivnije primarne proizvodnje (fitoplankonski cvatovi). U tim uvjetima može doći do promjene trofičkog statusa, iako ograničene na područje kaveza uz ozbiljne posljedice (npr. izražena hipoksija ili anoksija u pridnom sloju zbog razgradnje prekomjerno sedimentirane organske tvari). Stoga su nužna dodatna istraživanja u tim kritičnim sezonama.

Tablica 4. Kriteriji za stupanj eutrofikacije voda saliniteta >25 (iz: Hakanson i Brhyn, 2008)

Stupanj eutrofikacije	Chl-a ($\mu\text{g/L}$)	Nitrat ($\mu\text{mol/L}$)	Ortofosfat ($\mu\text{mol/L}$)
Oligotrofni	<2	<8	<0,4
Mezotrofni	2-6	8-20	0,4-1,25
Eutrofni	6-20	20-70	1,25-4,0
Hipertrofni	>20	>70	>4,0
Uvala Budava	<0,65	TIN<3,5	<0,3

5. ZAKLJUČCI

1. Vrlo male razlike u salinitetu i zasićenju kisikom u cijelom vodenom stupcu, na svim istraživanim postajama ukazuju na gotovo homogenu raspodjelu i dobru prozračenost vodenog stupca te da nema značajnijeg donosa hranjivih soli s kopna u zimskoj sezoni na ovom području.
2. Niske koncentracije klorofila *a* u čitavom vodenom stupcu te na svim istraživanim postajama ukazuju na nisku fitoplanktonsku aktivnost, odnosno, minimalnu primarnu proizvodnju organske tvari.
3. Povišene koncentracije hranjivih soli (amonijaka, nitrita i ortofosfata) u pridnom sloju vodenog stupca i akumulacija fosfora u sedimentu postaja u blizini kaveza (B2 i B1) u odnosu na referentnu postaju (R), ukazuje na procese remineralizacije organske tvari koja je u tom sloju povišena zbog utjecaja uzgajališta uslijed nakupljanja metaboličkih produkata riba te ostataka nepojedene hrane.
4. Niže vrijednosti redoks potencijala zabilježene na postaji B1, vjerojatno su rezultat izrazitije sedimentacije organske tvari (neiskorištena hrana i/ili metaboliti riba u uzgoju) u odnosu na referentnu postaju i postaju B1.
5. Iako postoji značajna razlika u vrijednostima nekih parametara ispod kaveza u odnosu na referentnu postaju, prema najvažnijim indikatorima stupnja eutrofikacije (ortofosfat i ukupni anorganski dušik), trofički status vodenog stupca kreće se u rasponu vrijednosti za oligotrofna područja, a u sedimentu u rasponima vrijednosti definiranim za područja pod utjecajem uzgajališta.
6. Daljnja istraživanja treba usmjeriti na sezonsku frekvenciju uzorkovanja i mjerenja zbog mogućnosti promjene trofičkog statusa uslijed raslojavanja vodenog stupca i povećane primarne proizvodnje.

6. LITERATURA

Agemian, H., Aspila, K. I., Chau, A. S. I., (1976) A semiautomated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments,. *Analyst*, 101, 187.

Antolić, B., Beg Paklar, G., Bogner, D., Cvitković, I., Dadić, V., Despalatović, M., Grubelić, I., Kušpilić, G., Marasović, I., Matijević, S., Nikolić, V., Tudor, M., Žuljević, A., (2010) Studija o utjecaju na okoliš uzgajališta bijele ribe Budava (istočna Istra). Split, Institut za oceanografiju i ribarstvo Split, 1-244.

Azov, Y. (1986) Seasonal patterns of phytoplankton productivity and abundance in near-shore oligotrophic waters of the Levant Basin (Mediterranean). *J. Plankton Res.*, 8, 41-53.

Bender, M.L., De Vries, T., Froelich, P. N., Heath, G.R., Luedtke, N.A. (1982) The marine phosphorus cycle. *Am. J. Sci*, 282:474-511.

Benitez-Nelson, C.R. (2000) The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. *Earth-Science Reviews*, 51(1-4): 109-135.

Berner, R. A., Ruttenger K. C., (1993) Authigenic apatite formation and burial in sediments from non-upwelling, continental margin environments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 57, Issue 5: 991-1007.

Cade-Menun, B. J., Faul, K. L., McLaughlin, K., Paytan, A., (2003) Selective phosphorus regeneration of sinking marine particles: evidence from ³¹P-NMR. *Marine Chemistry*, Volume 82, Issues 1-2: 55-70.

Carlson, R.E. and Simpson, J., (1996) A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Lake Management Society, 96 str.

Cullen J. John., MacIntyre L. Hugh., Yang Xiaolong., (1992) NUTRIENT LIMITATION OF MARINE PHOTOSYNTHESIS. New York, P. G. Falkowski et al. (eds.), *Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea* © Springer Science+Business Media New York 1992, str. 69-88.

Dalsgaard, T., Meyer, R. L., Nielsen, L. P., Risgaard-Petersen, N., Rysgaard, S., (2003) Application of the isotope pairing technique in sediments where anammox and denitrification coexist. *Limnology and oceanography: methods* 1: 63-73.

Degobbis, D., (1983) Influence of external sources on the nutrient content of Rijeka Bay (northern Adriatic). *Thalassia Jugosl.*, 19, 99-108.

Degobbis, D., Ivančić, I., (1984) An optimal manual procedure for ammonia analysis in natural waters by the indophenol blue method. *Water Res.*, 18: 1143-1147.

Delaney M. L., Filippelli G. M., (1996) Phosphorus geochemistry of equatorial Pacific sediments *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 60, Issue 9: 1479-1495.

Delaney, M. L., Faul, K. L., Paytan, A. (2005) Phosphorus distribution in sinking oceanic particulate matter. *Mar. Chem.*, 97: 307–333.

Dell'Anno, A., Mei, M.L., Pusceddu, A. and Danovaro, R., (2002) Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: a new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. *Marine Pollution Bulletin*, 44 (7): 611-622.

Đakovac, T., Matijević, S., Ninčević Gladan, Ž., (2008) Ažuriranje dokumenata Strategije upravljanja morskim okolišem i obalnim područjem temeljem obveza iz čl. 8, čl. 9. i čl. 10. Okvirne direktive o morskoj strategiji 2008 56 EZ 126-166.

Froelich, P. N., (1988) Kinetic control of dissolved phosphate in natural rivers and estuaries: A primer on the phosphate buffer mechanism¹. *Limnology and oceanography*, 33 (4, part 2): 649-668.

Gavrilović, A., Jug-Dujaković, J., (2014) Uloga sveučilišta u Dubrovniku u razvitku i modernizaciji sektora akvakulture u regiji. Dubrovnik, Zbornik sveučilišta u Dubrovniku, 55-82

Gilmartin, M., Revelante, N. (1983) The phytoplankton of the Adriatic Sea: Standing crop and primary production. *Thalassia Jugosl.*, 19, 173-188.

Hakanson, L. i Brhyn, C., (2008) Eutrophication in the Baltic Sea. Present Situation, Nutrient Transport Processes, Remedial Strategies. *Environmental Science and Engineering Book Series*, 261 pp.

Ivančić, I. (1995) Utjecaj dugoročnih promjena oceanografskih svojstava na koncentraciju hranjivih soli u sjevernom jadrnu. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 138p.

Katavić, I., (2003) Učinci kaveznih uzgajališta riba duž istočne obale Jadrana na morski okoliš. *Ribarstvo*, 61 (4): 175-194.

Katavić, I., (2006) Rizici eutrofikacije kao posljedica nekontrolirane hranidbe riba u kaveznom uzgoju. *Krmiva*, 48: Zagreb, 3; 157-164

Katavić, I., Vodopija, T., (2001) Razvojne mogućnosti marikulture u republici Hrvatskoj. *Ribarstvo*, 59 (2): 71-84.

Kljaković-Gašpić, Z., Kušpilić, G., Matijević, S., (2007) The redox potential of sediment from the Middle Adriatic region. *ACTA ADRIAT.*, 48(2): 191-204

Krom, M. D., Kress, N., Brenner, S., Gordon, L. I. (1991) Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. *Limnol. Oceanogr.*, 36, 424-432.

Lalli, C. M., Maita, Y., Parsons, T. R., (1985) A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. Oxford, New York, Toronto, Sydney and Frankfurt: 1-21.

Marasović, I., Pucher-Petković, T., Alegria-Hernandez, V. (1988) Relation between phytoplankton production and *Sardina pilchardus* catch in the Middle Adriatic. In: Fifth Technical Consultation on stock assessment in the Adriatic, GFCM, Caddy, J. F. and Savini M. (eds), Rome, 121-126.

Matijević, S., Kušpilić, G., Kljaković-Gašpić, Z. and Bogner, D., (2008a) Impact of fish farming on the distribution of phosphorus in sediments in the middle Adriatic area. *Marine pollution bulletin*, 56 (3): 535-548.

Matijević, S., Bogner, D., Morović, M., Tičina, V., Grbec, B., (2008b) Characteristics of the sediment along the eastern Adriatic coast (Croatia). *Fresenius Environmental Bulletin*, 17: 1763-1772.

Matijević, S., Bilić, J., Ribičić, D., Dunatov, J., (2012) Distribution of phosphorus species in below-cage sediments at the tuna farms in the middle Adriatic Sea (Croatia). *Acta Adriatica*, 53: 399-412.

Paytan, A. and McLaughlin, K. (2007) The oceanic phosphorus cycle. *Chemical reviews*, 107 (2): 563-576.

Pucher-Petković, T. i Marasović, I. (1987) Promjene u fitoplanktonskoj zajednici kao odgovor na pojačanu eutrofikaciju mora. *Pomorski zbornik*, 25, 18-26.

Pusceddu, A., Bianchelli, S., Gambi, C. and Danovaro, R., (2011) Assessment of benthic trophic status of marine coastal ecosystems: Significance of meiofaunal rare taxa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 93(4): 420-430.

UNESCO, (1986) Progress on oceanographic tables and standards 1983-1986: Work and recommendations of the Unesco/SCOR/ICES/IAPSO Joint Panel., UNESCO Technical Papers in Marine Science, No. 50, 59 str.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Sveučilišni preddiplomski studij Znanost o moru

Završni rad

Eutrofni uvjeti u uzgajalištu Budava u 2017.

LEANA ZANDONA

Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, G. Paliaga 5, 52210 Rovinj

SAŽETAK

Hranjive soli su otopljeni anorganski spojevi dušika (amonijeve soli, nitriti i nitrati), fosfora (ortofosfati) i silicija (ortosilikati) otopljeni u morskoj vodi koji imaju važnu ulogu u primarnoj proizvodnji i koji se nakon uginuća organizama, sedimentacije i heterotrofne razgradnje remineraliziraju te vraćaju u vodeni stupac. Eutrofikacija je proces obogaćivanja vodenog staništa hranjivim solima koji dovodi do porasta fitoplanktonske biomase, te do povećanog protoka partikularne organske tvari prema dnu. Cilj rada bio je utvrditi eutrofne uvjete u uvali Budava 2017. godine analizom primjerenih parametara u vodenom stupcu i površinskom sedimentu na postajama u neposrednoj blizini kaveza za uzgoj ribe i na postaji koja nije pod direktnim utjecajem uzgajališta te ih međusobno usporediti. Rezultati su pokazali da uzgoj riba može značajno utjecati na eutrofne uvjete povišenjem koncentracija hranjivih soli uvale Budava, iako je to pretežito bilo ograničeno na područje oko kaveza. U prosincu 2017. godine to se nije značajno odrazilo na trofički status, tj. najviše vrijednosti indikatora eutrofikacije u vodenom stupcu (ortofosfata i ukupnog anorganskog dušika) kretale su se u rasponu koji opisuje oligotrofno stanje. No, potrebno je istaknuti da je za razliku od zimske sezone, tijekom proljeća i ljeti uobičajeno raslojavanje vodenog stupca znatno izraženo, te može doći do povećanog stvaranja organske tvari u procesima intenzivne primarne proizvodnje zbog čega su nužna dodatna istraživanja u tim kritičnim sezonama.

Rad je pohranjen u knjižnicama Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli i Instituta „Ruđer Bošković“ u Rovinju.

(36 stranica, 3 slika, 4 tablice i 35 literaturna navoda; izvornik na hrvatskom jeziku)

Ključne riječi:

Hranjive soli, trofički status, sediment, redoks potencijal, uzgajalište, uvala Budava

Mentor: izv. prof. dr. sc. Tamara Đakovac

Ocjenjivači: izv.prof. dr. sc. Ljiljana Iveša (predsjednik povjerenstva)
izv.prof. dr. sc. Željko Jakšić (član)
izv. prof. dr. sc. Tamara Đakovac (član)

Datum obrane: 27.09.2019.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Juraj Dobrila University of Pula
University Undergraduate Study Programme – Marine Sciences

Bachelor thesis

Eutrophic conditions in fish farm Budava in 2017

LEANA ZANDONA

Ruđer Bošković Institute, Center for Marine Research, G. Paliaga 5, 52210 Rovinj

SUMMARY

Nutrients are dissolved inorganic compounds of nitrogen (ammonium, nitrites and nitrates), phosphorus (orthophosphates) and silicon (orthosilicates) dissolved in seawater that play an important role in primary production and which, after the death of organisms, sedimentation and heterotrophic degradation, are remineralized and returned into the water column. Eutrophication is the process of enriching the aquatic habitat with nutrients that leads to an increase in phytoplankton biomass and an increased flow of particulate organic matter towards the bottom. The aim of the study was to determine eutrophic conditions in Budava Bay in 2017 by analyzing adequate parameters in the water column and surface sediment, at stations close to the fish cages and at the station not directly influenced by the farms and to compare them. The results showed that fish farming can significantly affect eutrophic conditions by increasing the nutrient concentrations of Budava Bay, although this was predominantly restricted to the area around the cage. In December 2017, this did not significantly affect the trophic status, i.e. the highest values of the eutrophication indicators in the water column (orthophosphate and total inorganic nitrogen) were in the range describing the oligotrophic state. However, it should be noted that, unlike the winter season, during the spring and summer, the usual stratification of the water column is significantly pronounced, which may lead to increased organic matter formation in intensive primary production processes, and additional research is required in these critical seasons.

(36 pages, 3 figures, 4 table and 35 references; original in Croatian)

Key Words:

Nutrients, trophic status, sediment, redox potential, fish farm, Budava bay

Supervisor: Assoc. Prof. dr. sc. Tamara Đakovac

Rewiewers: Assoc. Prof. dr. sc. Ljiljana Iveša
Assoc. Prof. dr. sc. Željko Jakšić

Thesis defense: September 27, 2019